

Caracterização de genótipos de soja submetidos a níveis de calagem e adubação de sistema com fósforo e potássio na região centro-sul do Paraná



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

DOCUMENTOS 417

**Caracterização de genótipos de soja submetidos
a níveis de calagem e adubação de sistema com
fósforo e potássio na região centro-sul do Paraná**

José Salvador Simonetto Foloni
Adilson de Oliveira Junior
Cesar de Castro
Fábio Álvares de Oliveira
Michelli Fernanda Prescendo
Rafael de Carvalho Rodrigues

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja
Rod. Carlos João Strass, s/n,
acesso Orlando Amaral
C.P. 231, CEP 86001-970
Fone: 3371-6000
www.embrapa.br/soja
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Soja

Presidente
Ricardo Vilela Abdelnoor

Secretária-Executiva
Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Membros
Alvadi Antonio Balbinot Junior, Clara Beatriz Hoffmann-Campo, Claudine Dinali Santos Seixas, José Marcos Gontijo Mandarino, Liliane Márcia Mertz-Henning, Mariangela Hungria da Cunha, Norman Neumaier e Vera de Toledo Benassi

Supervisão editorial
Vanessa Fuzinatto Dall' Agnol

Normalização bibliográfica
Valéria de Fátima Cardoso

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Beatriz Soncela

Foto da capa
José Salvador Simonetto Foloni

1ª edição
PDF digitalizado (2019)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Soja

Caracterização de genótipos de soja submetidos a níveis de calagem e adubação de sistema com fósforo e potássio na região centro-sul do Paraná: / José Salvador Simonetto Foloni... [et al.]. - Londrina: Embrapa Soja, 2019.
PDF (33 p.) : il. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN : 2176-2937 ; n. 417).

1. Soja - Adubação. 2. Soja - Nutrição mineral. 3. Soja - Calagem. I. Foloni, José Salvador Simonetto. II. Oliveira Junior, Adilson de. III. Castro, Cesar de. IV. Oliveira, Fábio Álvares de. V. Prescendo, Michelli Fernanda. VI. Rodrigues, Rafael de Carvalho. VII. Título. VIII. Série.

CDD: 633.34 (21.ed.)

Autores

José Salvador Simonetto Foloni

Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Adilson de Oliveira Junior

Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Cesar de Castro

Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Fábio Alvares de Oliveira

Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

Michelli Fernanda Prescendo

Estudante de Agronomia, Centro Universitário Filadélfia - Unifil, Londrina, PR

Rafael de Carvalho Rodrigues

Estudante de Agronomia, Universidade Norte do Paraná - Unopar, Londrina, PR

Apresentação

O melhoramento genético tem proporcionado ganhos expressivos de produtividade e ampliado a estabilidade produtiva da soja nas mais diversas condições de clima e solo do Brasil. Concomitantemente, tem-se a calagem e a adubação com fósforo (P) e potássio (K) como tecnologias chave para a viabilidade econômica da sojicultura nacional.

Contudo, toda nova cultivar lançada no mercado precisa ser caracterizada perante uma série de fatores bióticos (fitossanidade) e abióticos (acidez do solo, exigência em adubação, etc).

A correção da acidez do solo deve ser ajustada para contemplar todas as culturas que compõem os sistemas de produção, e não somente para uma cultura, como a soja, por exemplo. Nesse sentido, é preciso calibrar a calagem para atender prioritariamente as culturas mais sensíveis à acidez, mas, em contrapartida, pode haver excesso de corretivo para outras culturas menos exigentes.

Quanto ao modo de aplicação de P e K em sistemas de produção de grãos, é possível antecipar total ou parcialmente a adubação da soja para as culturas de inverno (trigo, etc), principalmente em solos com níveis médios a muito altos desses nutrientes. Porém, para aprimorar estratégias de adubação é necessário considerar a conjuntura de uma série de fatores agronômicos como, por exemplo, a distinção de resposta entre genótipos.

Ricardo Vilela Abdelnoor

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Soja

Conteúdo

Introdução.....	9
Protocolo experimental.....	11
Rendimento de grãos de genótipos de soja submetidos à calagem em superfície no SPD e à adubação de sistema com P e K.....	14
Considerações Finais	29
Referências	30

Introdução

A maioria dos solos brasileiros apresenta limitações ao estabelecimento de grande parte das culturas em decorrência de propriedades químicas inadequadas, como elevada acidez, concentrações de alumínio (Al) e/ou manganês (Mn) em níveis tóxicos, e deficiência generalizada de nutrientes (Novais; Smyth, 1999; Sousa et al., 2007; Caires, 2011; Raij, 2011).

A calagem tornou-se tecnologia chave para o manejo de solos ácidos no Brasil, pois, além de reduzir a acidez e a toxicidade do Al e Mn, incrementa a atividade microbiana e a fixação biológica de nitrogênio (N), e aumenta a disponibilidade de vários nutrientes, a um custo relativamente baixo se comparado ao de outros insumos, e com retorno econômico expressivamente positivo (Sousa et al., 2007; Caires, 2011; Raij, 2011).

No processo de implantação do sistema plantio direto (SPD), quando há necessidade de calagem, recomenda-se incorporar o corretivo na camada de 0 a 20 cm de profundidade do solo por meio de aração e gradagem. Contudo, no SPD consolidado, após a fase de implantação, indica-se somente a aplicação em superfície de calcário sobre a palhada para manter a fertilidade do solo em níveis adequados (Caires, 2011; Tecnologias..., 2013; Moreira et al., 2017).

Para a cultura da soja no Estado do Paraná, é recomendada calagem para elevar a saturação por bases (V) a 60%, e este atributo deve ser corrigido sempre que estiver abaixo de 50% na camada de 0 a 20 cm do solo (Moreira et al., 2017). Porém, Caires (2011) fez compilação de vários experimentos de longa duração sobre calagem em superfície no SPD na região Centro-Sul do Paraná, englobando diferentes culturas em rotação (soja, milho, trigo, triticale e espécies de cobertura), e constatou que a máxima eficiência econômica dos sistemas de produção foi alcançada com V de 65% na camada de 0 a 20 cm do solo em cinco anos, e V de 70% em 10 anos. Sendo assim, questiona-se se há necessidade de criar níveis de calagem considerando diferentes ambientes e sistemas de produção, e também se há distinção de resposta entre genótipos submetidos à calagem em superfície no SPD.

Para elaborar programas de adubação, para determinada cultura ou sistema de produção, deve-se considerar as exigências específicas de cada espécie,

a fertilidade do solo, as boas práticas de manejo de fertilizantes e corretivos, a eficiência operacional, o ambiente (clima e solo) e a viabilidade econômica. A adubação tem por objetivo fornecer nutrientes às plantas para incrementar a produtividade e a qualidade de produtos a serem colhidos (quando for o caso), buscando o máximo retorno econômico, e obedecendo a critérios de responsabilidade socioambiental (Tecnologias..., 2013; Moreira et al., 2017).

Quanto ao modo de aplicação de fertilizantes para a soja, no âmbito de sistemas de produção, é possível ministrar nutrientes nas culturas antecessoras em rotação/sucessão (adubação de sistema), em pré-semeadura, na semeadura, em cobertura no decorrer do desenvolvimento das plantas, e/ou via pulverização foliar (Foloni; Rosolem, 2008). Em certos casos, a adubação é indicada somente para manutenção da fertilidade do solo, quando os nutrientes estão em níveis altos na camada de 0 a 20 cm do perfil. E há situações em que a adubação é dispensada, quando a disponibilidade dos nutrientes no solo está em nível muito alto (Raij, 2011; Fontoura et al., 2015; Sousa et al., 2016; Moreira et al., 2017).

Comumente indica-se para a soja aplicar fertilizantes fosfatados (P) e potássicos (K) nos seus sulcos de semeadura, próximos às sementes na instalação da cultura. E para o K, quando as quantidades são relativamente elevadas, principalmente em solos de texturas mais grosseiras, orienta-se que parte da dose seja ministrada em cobertura no início do desenvolvimento das plantas, para evitar o efeito salino do adubo e perdas por lixiviação (Raij, 2011; Tecnologias..., 2013; Sousa et al., 2016; Moreira et al., 2017).

No entanto, há alternativas quanto ao modo de aplicação de P e K em sistemas de produção que envolvem a soja. No Estado do Paraná, por exemplo, para adubações fosfatadas e potássicas onde há cultivo de soja após trigo ou cevada, é possível antecipar total ou parcialmente a adubação da soja para as culturas de inverno, principalmente em solos com níveis médios a muito altos desses nutrientes (Fontoura et al., 2015; Moreira et al., 2017). Mas para aprimorar diferentes estratégias de adubação é necessário considerar a conjuntura de uma série de fatores agronômicos como, por exemplo, se há distinção de resposta entre genótipos (Novais; Smyth, 1999; Furlani; Machado, 2002).

O objetivo do trabalho foi avaliar o rendimento de grãos de 14 genótipos de soja submetidos a níveis de calagem em superfície no SPD

em interação com adubação de sistema com P e K na sucessão trigo/soja, por três safras consecutivas na região Centro-Sul do Paraná.

Protocolo experimental

O experimento foi conduzido nas safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17 em fazenda da Embrapa em Ponta Grossa/PR, a 25° 09' 19" sul, 50° 05' 31" oeste e altitude de 987 m, no Centro-Sul do Paraná. Em termos de ambiente de produção para lavouras de grãos, esta localidade está situada na região edafo-climática de adaptação 103 para a cultura da soja (Kaster; Farias, 2012), e na macrorregião tritícola 1 (CBPTT, 2013).

O clima do Centro-Sul do Paraná é classificado como Cfb (Köppen), denominado de subtropical úmido mesotérmico (Alvares et al., 2013), com temperaturas médias no mês mais frio abaixo de 18 °C e no mês mais quente abaixo de 22 °C, com verões amenos, expressivo risco de geada e sem estação seca definida (Iapar, 1994). Na Figura 1 estão apresentados os dados climáticos diários ocorridos no decorrer da condução da soja nas três safras, com precipitação pluvial e temperaturas máxima e mínima do ar.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura média (Santos et al., 2006; Bhering; Santos, 2008), o qual teve o seu perfil avaliado e encontrava-se apto para o cultivo de trigo e soja (CBPTT, 2013; Tecnologias..., 2013). Antes da instalação do experimento, a área vinha sendo manejada no sistema plantio direto (SPD) por mais de 10 anos com a rotação de soja e milho no verão, e trigo e aveia-preta no inverno. No decorrer da condução do trabalho, nas três safras avaliadas, o SPD foi mantido com a sucessão de soja no verão e trigo no inverno.

Em meados de março de 2014, após a colheita da lavoura de verão, foi realizada amostragem do solo para análise química (Claessen, 1997), e foram obtidos os seguintes resultados para as camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, respectivamente: pH (CaCl_2) de 5,15 e 5,05; C de 20,76 e 16,50 g dm^{-3} ; P de 14,23 e 1,31 mg dm^{-3} ; H+Al de 4,15 e 3,58 cmol_c dm^{-3} ; Al de 0,11 e 0,20 cmol_c dm^{-3} ; K de 0,50 e 0,24 cmol_c dm^{-3} ; Ca de 3,78 e 3,17 cmol_c dm^{-3} ; Mg de 1,22 e 0,98 cmol_c dm^{-3} ; CTC de 9,66 e 7,97 cmol_c dm^{-3} ; Saturação por bases (V) de 56,89 e 54,56%.

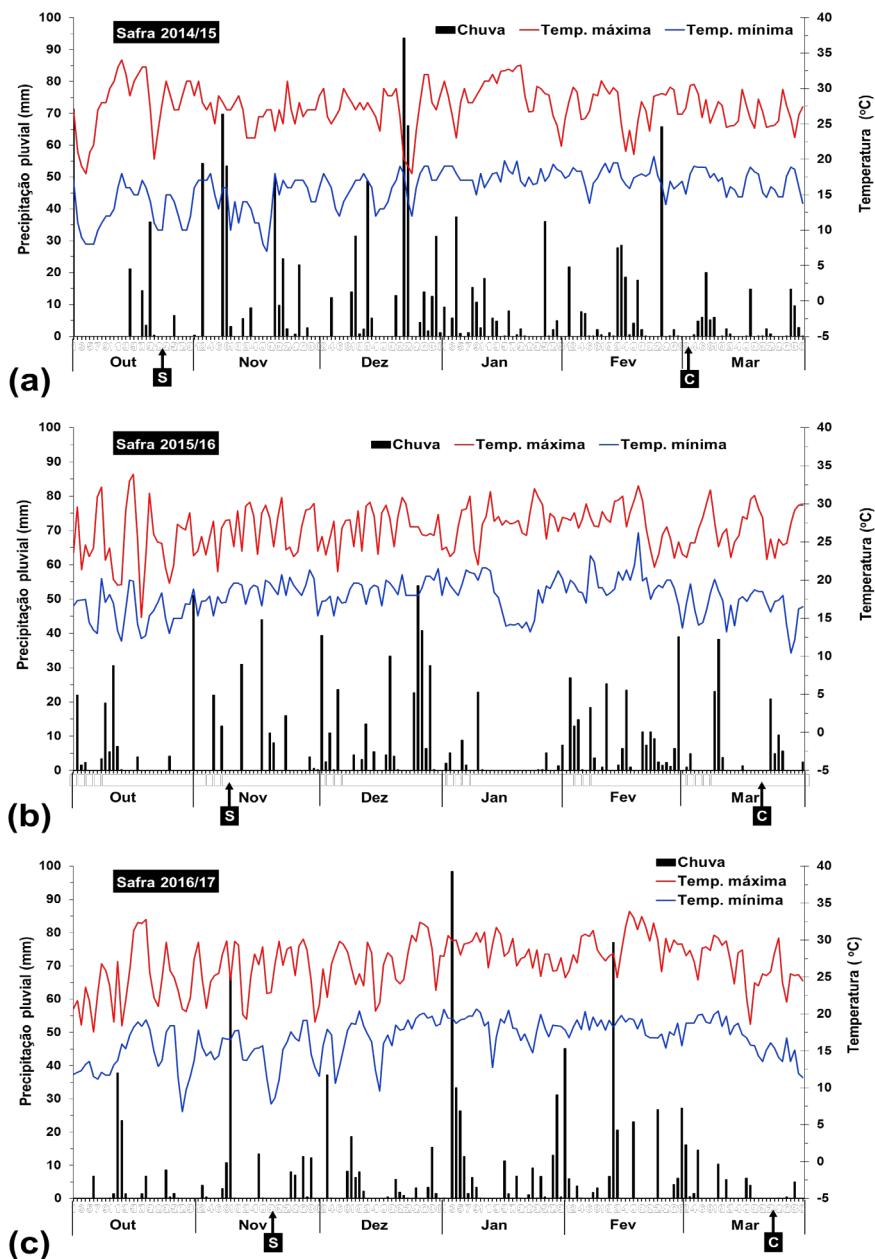


Figura 1. Dados diários de precipitação pluvial e de temperaturas máxima e mínima do ar no decorrer da condução da soja nas safras 2014/15 (a), 2015/16 (b) e 2016/17 (c), em Ponta Grossa/PR. S: Semeadura; C: Colheita.

No decorrer da condução da soja e do trigo nas três safras estudadas, todos os critérios de adubação com macro e micronutrientes (menos P e K), tratamento de sementes, inoculação para fixação biológica de N, manejo fitossanitário (plantas daninhas, pragas e doenças), época de semeadura, estande de lavoura, e demais procedimentos agrônômicos, foram realizados conforme as indicações de Tecnologias... (2013) e CBPTT (2013). O delineamento experimental foi em blocos completos ao acaso, com quatro repetições, no esquema de parcelas sub-subdivididas, totalizando 54 tratamentos organizados da seguinte forma: nas parcelas foram instaladas a presença e ausência de calagem superficial, nas subparcelas três modos de adubação de sistema com P e K na sucessão trigo/soja, e nas sub-subparcelas nove genótipos de soja.

As unidades experimentais (sub-subparcelas) foram compostas por oito linhas de lavoura de soja espaçadas a 0,50 m e 7 m de comprimento, e o trigo com 20 linhas espaçadas a 0,20 m e 7 m de comprimento. A área útil das sub-subparcelas de soja foi constituída pelas seis linhas centrais com 6 m de comprimento, e no trigo por 14 linhas centrais de 6 m. O delineamento experimental foi mantido no mesmo local durante as três safras, para avaliar o efeito residual dos tratamentos de calagem e de adubação de sistema.

Foram utilizados os seguintes genótipos de soja: (1) Safra 2014/15: BRS 1001 IPRO (Gen.1), BRS 1002 IPRO (Gen.2), BRS 1003 IPRO (Gen.3), BRS 1005 IPRO (Gen.4), BRS 1006 IPRO (Gen.5), BRS 1007 IPRO (Gen.6); BRS 1010 IPRO (Gen.7); DM 5958 IPRO (Gen.8); DM 6563 IPRO (Gen.9); (2) Safra 2015/16: BRS 1001 IPRO (Gen.1), BRS 1003 IPRO (Gen.3), BRS 1007 IPRO (Gen.6); BRS 1010 IPRO (Gen.7); DM 5958 IPRO (Gen.8), DM 6563 IPRO (Gen.9), NA 5909 RR (Gen.10), NS 5959 IPRO (Gen.11), TMG 7062 IPRO (Gen.12); (3) Safra 2016/17: BRS 1001 IPRO (Gen.1), BRS 1003 IPRO (Gen.3), BRS 1007 IPRO (Gen.6); BRS 1010 IPRO (Gen.7); DM 5958 IPRO (Gen.8), DM 6563 IPRO (Gen.9), NA 5909 RR (Gen.10), M 5947 IPRO (Gen.13), BMX Elite IPRO (Gen.14).

Para constituir os tratamentos de ausência e presença de calagem superficial no SPD, foi efetuada aplicação manual do corretivo, a lanço sobre a palhada em toda a área das parcelas, em meados de abril de 2014. Foi utilizada a fonte calcário dolomítico (CaO: 39%, MgO: 13% e PRNT: 91%), e a dose foi

calculada para elevar o V a 70% na camada de 0-20 cm de profundidade do solo, conforme método proposto em Tecnologias (2013).

Os tratamentos de adubação de sistema com doses de P e K na sucessão trigo/soja foram estabelecidos a partir de análise do solo da camada de 0-20 cm de profundidade, e de recomendações de adubação para as culturas da soja e do trigo (Tecnologias..., 2013; CBPTT, 2013). Foram realizadas misturas de fertilizantes a base de K (cloreto de potássio) e P (superfosfato triplo), as quais foram aplicadas nos sulcos de semeadura das culturas do trigo e da soja. Os tratamentos experimentais foram definidos da seguinte forma: (1) Sistema S1 (1 PK Trigo + 1 PK Soja): com 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O aplicados na semeadura do trigo, e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O na semeadura da soja; (2) Sistema S2 (1+1 PK Trigo + 0 PK Soja): com 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 100 kg ha⁻¹ de K₂O aplicados na semeadura do trigo, e ausência de P e K na semeadura da soja; e (3) Sistema S3 (0 PK Trigo + 0 PK Soja): com ausência de adubações com P e K no trigo e na soja.

Foi efetuada colheita mecanizada dos grãos em três linhas de lavoura com 6 m de comprimento na área útil das sub-subparcelas, com colhedora automotriz desenvolvida para experimentação agrícola. Após a retirada de impurezas e determinação de umidade, calculou-se a produtividade de grãos com o teor de água corrigido a 130 g kg⁻¹.

O estudo estatístico foi realizado por meio de análise de variância, e os resultados foram submetidos ao teste F a 5% de significância. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Em determinadas situações, fez-se a conversão da produtividade de grãos (kg ha⁻¹) em rendimento relativo (%).

Rendimento de grãos de genótipos de soja submetidos à calagem em superfície no SPD e à adubação de sistema com P e K

O calcário aplicado em superfície no SPD não incrementou a produtividade da soja nas três safras estudadas, considerando o desempenho médio de nove genótipos avaliados a cada safra (Figuras 2A, 2C e 2E). Quanto ao

modo de adubação, não houve prejuízo de rendimento de grãos na situação em que os fertilizantes P e K foram retirados dos sulcos de semeadura da soja e aplicados antecipadamente na semeadura do trigo, também nas três safras, e para a média geral de nove genótipos (Figuras 2B, 2D e 2F).

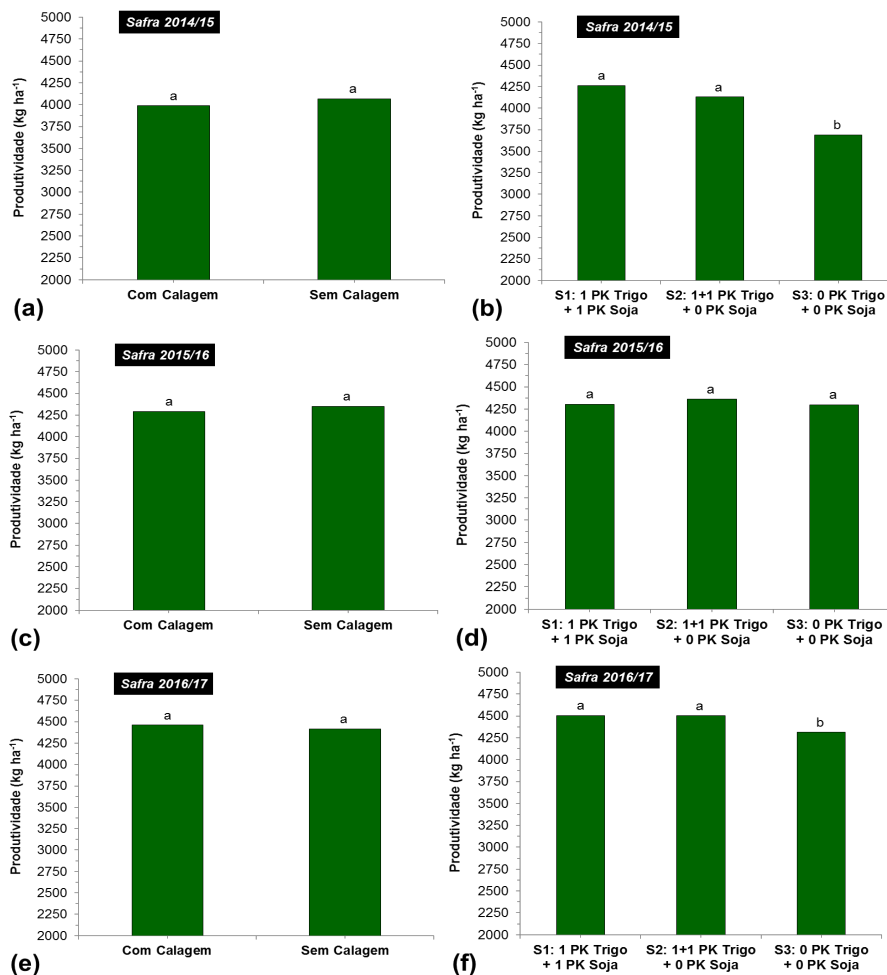


Figura 2. Produtividade de grãos de soja em razão da presença e ausência de calagem em superfície no SPD nas safras 2014/15 (a), 2015/16 (c) e 2016/17 (e), e da adubação de sistema com P e K na sucessão trigo/soja nas safras 2014/15 (b), 2015/16 (d) e 2016/17 (f), em Ponta Grossa/PR. Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Resultados gerados a partir das médias de nove genótipos de soja, para todas as safras. CV_(safra 2014/15): 8,39%; CV_(safra 2015/16): 6,94%; CV_(safra 2016/17): 5,56%.

A recomendação oficial de calagem para a soja no Paraná é para elevar o V a 60% na camada de 0 a 20 cm do solo, e a correção deve ser feita quando o V estiver abaixo de 50% (Moreira et al., 2017). Concomitantemente, tem-se a indicação de Tecnologias... (2013) também para a soja no Paraná, na qual se preconiza calagem para elevar o V a 70% na camada de 0 a 20 cm do solo.

No presente estudo, foi efetuada calagem para elevar o V a 70% na camada de 0 a 20 cm do solo, em uma área que apresentava, antes da instalação do experimento, valores de V de 57% e 55% nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm, respectivamente. O trabalho foi planejado tendo como referência as recomendações de Tecnologias... (2013).

Portanto, conforme resultados apresentados nas Figuras 2A, 2C e 2E, afirma-se que o intervalo de V entre 50% a 60% é adequado para se obter o máximo rendimento da soja, corroborando a indicação de Moreira et al. (2017). Nas três safras estudadas foram alcançadas produtividades médias acima de 4 t ha⁻¹, resultados expressivamente superiores à média geral dos agricultores paranaenses (Conab, 2019). Nos trabalhos de Fontoura et al. (2015), conduzidos na mesma região edafoclimática em que foi realizado o presente estudo (centro-sul do Paraná), com os quais constatou-se que o V da ordem de 60% proporcionou os máximos rendimentos da soja, também foram obtidas produtividades médias acima de 4 t ha⁻¹.

A geração de acidez no solo é um processo natural e contínuo, e considerando que a incorporação de corretivos é inviável em áreas conduzidas no SPD, tornou-se padrão fazer calagem em superfície para manejo da fertilidade em sistemas de produção que envolvem a soja, em rotação ou sucessão com diversas outras culturas, em diferentes condições edafoclimáticas do Brasil (Sousa et al., 2007; Caires, 2011; Raji, 2011; Wiethölter, 2011; Tecnologias..., 2013; Moreira et al., 2017).

Porém, indaga-se sobre quais seriam os limites máximo e mínimo de V a serem considerados na programação de calagem, tendo em vista a necessidade de corrigir a camada de 0 a 20 cm do solo a partir da aplicação em superfície de corretivo. Além disso, questiona-se se é preciso contemplar outras variáveis como, por exemplo, a distinção de resposta entre genótipos, a diversidade de ambientes (clima e solo), o detalhamento sobre sequências de culturas em rotação ou sucessão, a eficiência operacional, etc.

De acordo com explicações de Tecnologias... (2013), os valores adequados de V para a soja, que determinam os maiores rendimentos econômicos, devem variar para cada região em razão das propriedades químicas e granulométricas dos solos predominantes. Sendo assim, especificamente para o Paraná tem-se duas situações: (1) Calagem para elevar o V a 70% para as regiões classificadas como “tradicionais” de cultivo de soja (Norte, Nordeste, Oeste, Centro-Oeste, Sudeste, Centro-Sul e Sudoeste) e; (2) Calagem para elevar o V a 50% para a região do arenito Caiuá no Noroeste do Estado.

Para a soja na região dos Cerrados, no Centro-Oeste do Brasil, também se recomenda calagem para elevar o V a 50% na camada de 0 a 20 cm, onde predominam solos ricos em óxidos de Fe e Al (Sousa; Lobato, 2004a; Sousa et al., 2007), similar à indicação para a região do arenito Caiuá no Noroeste do Paraná (Tecnologias..., 2013).

No trabalho de Sousa et al. (2007), discute-se a relação entre produtividade de grãos de culturas anuais e níveis de V em solos da região dos Cerrados. Foi constatada reposta de equação quadrática (estatisticamente significativa) para o aumento da produtividade em função do nível de V, para as culturas do milho, soja, feijão e trigo. Dessa forma, o rendimento de grãos foi incrementado com o aumento do V até 40%, estabilizou entre os valores de V de 40% a 60%, e diminuiu quando o V foi maior que 60%. Justifica-se o declínio da produtividade para V acima de 60% devido à elevação do pH acima de 6,3, pois, nessas condições comumente há redução da disponibilidade de alguns micronutrientes.

Além do ambiente de cultivo (clima e solo), a correção do solo deve ser ajustada para contemplar todas as culturas que compõem os sistemas de produção, e não somente para uma cultura, como a soja, por exemplo. Nesse sentido, é preciso calibrar a calagem para atender prioritariamente as culturas mais sensíveis à acidez, mas, em contrapartida, pode haver excesso de corretivo para outras culturas menos exigentes (Sousa et al., 2007; Caries, 2011; Raij, 2011).

Para reforçar o conceito de calagem visando contemplar todo o sistema de produção, tem-se o trabalho de Caires (2011), no qual fez-se análise conjunta de vários experimentos de longa duração executados na região Centro-Sul do Paraná, em condição edafoclimática similar à do presente estudo. O autor

considerou a produção acumulada de sete colheitas (4 soja + 1 milho + 1 trigo + 1 triticale) em cinco anos, e de treze colheitas (8 soja + 2 milho + 2 trigo + 1 triticale) em dez anos, e concluiu que a máxima eficiência econômica foi alcançada com V de 65% na camada de 0 a 20 cm do solo para cinco anos, e V de 70% para 10 anos. Destaca-se que estes valores de V foram calculados para se obter os máximos retornos econômicos dos sistemas como um todo, e não isoladamente para cada cultura.

Outro trabalho para corroborar a elucidação sobre calagem em sistemas de produção de grãos na região centro-sul do Paraná foi realizado por Fontoura et al. (2015), sendo executados experimentos de longa duração com a rotação de soja, milho, trigo, cevada e aveia-branca no SPD. Verificou-se que a soja foi a cultura mais sensível à acidez do solo dentre todas estudadas, apresentando os maiores incrementos de produtividade em resposta ao uso de corretivo. Concluiu-se que a soja tem exigência de pH (CaCl_2) de 4,9 e V de 60% na camada de 0 a 20 cm do solo.

O manejo da acidez do solo tem forte relação com a dinâmica da matéria orgânica (MO) nos sistemas de produção, em tal magnitude que são recorrentes relatos sobre altas produtividades de culturas de grãos no SPD conduzido sem aporte de calcário em solos com acidez relativamente elevada (pH baixo e Al trocável alto). Caires (2011) fez compilação de 18 artigos científicos sobre calagem em superfície no SPD para as culturas da soja, milho e trigo, e constatou situações em que houve altas produtividades em solos ácidos sem o uso de corretivo. A justificativa é que no SPD há maior acúmulo de MO no solo, acarretando em menor atividade do Al devido a complexação por ácidos orgânicos, assim como, maior disponibilidade de cátions básicos (Ca, Mg e K), menor fixação de P, maior disponibilidade hídrica às lavouras, entre outros benefícios (Sousa et al., 2007; Caires, 2011; Wiethölter, 2011; Fontoura et al., 2015).

Reafirma-se, portanto, que os resíduos vegetais (palhada ou cobertura morta) depositados na superfície do solo no SPD têm capacidade de elevar o pH e reduzir a atividade do Al (Miyazawa et al., 1993). Ou seja, a palhada pode amenizar os efeitos negativos da acidez por meio da liberação de ligantes orgânicos (ácidos orgânicos) que têm capacidade de complexar o Al trocável. Esses ácidos orgânicos, por serem hidrossolúveis, podem acompanhar o

fluxo descendente de água ao longo do perfil do solo e causar alterações na fertilidade de camadas subsuperficiais (Pavan; Chaves, 1998).

Em termos de programação de calagem, é preciso considerar que o corretivo tem efeito sobre a acidez do solo por dois a quatro anos, dependendo das condições edafoclimáticas e do manejo (Wiethölter, 2011; Tecnologias..., 2013; Moreira et al., 2017). Além disso, destaca-se que o calcário aplicado sobre a palhada no SPD pode migrar no perfil do solo reduzindo a acidez em camadas subsuperficiais. E esta frente de correção da acidez em profundidade é dependente da qualidade do corretivo, dose aplicada, características do solo, manejo e tempo (Sousa et al., 2007; Caires, 2011; Raij, 2011; Fontoura et al., 2015).

Segundo Caires (2011), citando resultados de Helyar (1991), Rheinheimer et al. (2000) e Caires et al. (2008), a redução da acidez do solo abaixo da camada de deposição do calcário somente ocorre quando o pH atinge valores de 5,0 a 5,6 na zona de dissolução dos carbonatos de Ca e Mg.

O solo do presente estudo apresentava valores de pH (CaCl_2) de 5,15 e 5,05 nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade, respectivamente, por ocasião da instalação do experimento. Sendo assim, é possível deduzir que o corretivo aplicado sobre a palhada reagiu e foi efetivo para minimizar a acidez em profundidade no perfil, apesar de não ter beneficiado a soja em termos de rendimento de grãos (Figuras 2 e 3). Além dos valores de pH, é importante frisar que este solo tinha V de 57% na camada de 0 a 20 cm, ou seja, estava dentro do intervalo adequado de V de 50% a 60% para a cultura da soja no Estado do Paraná (Moreira et al., 2017).

Outro questionamento sobre aplicação em superfície de calcário no SPD, é se de fato há redução da acidez em camadas subsuperficiais do solo. Revisão de literatura aponta vários experimentos sobre calagem em superfície no SPD, realizados em diferentes condições edafoclimáticas e de manejo, evidenciando menor acidez e melhorias da fertilidade química do solo em profundidades abaixo de 20 cm (Oliveira; Pavan, 1996; Caires et al., 2000; Caires et al., 2008; Fontoura et al., 2015).

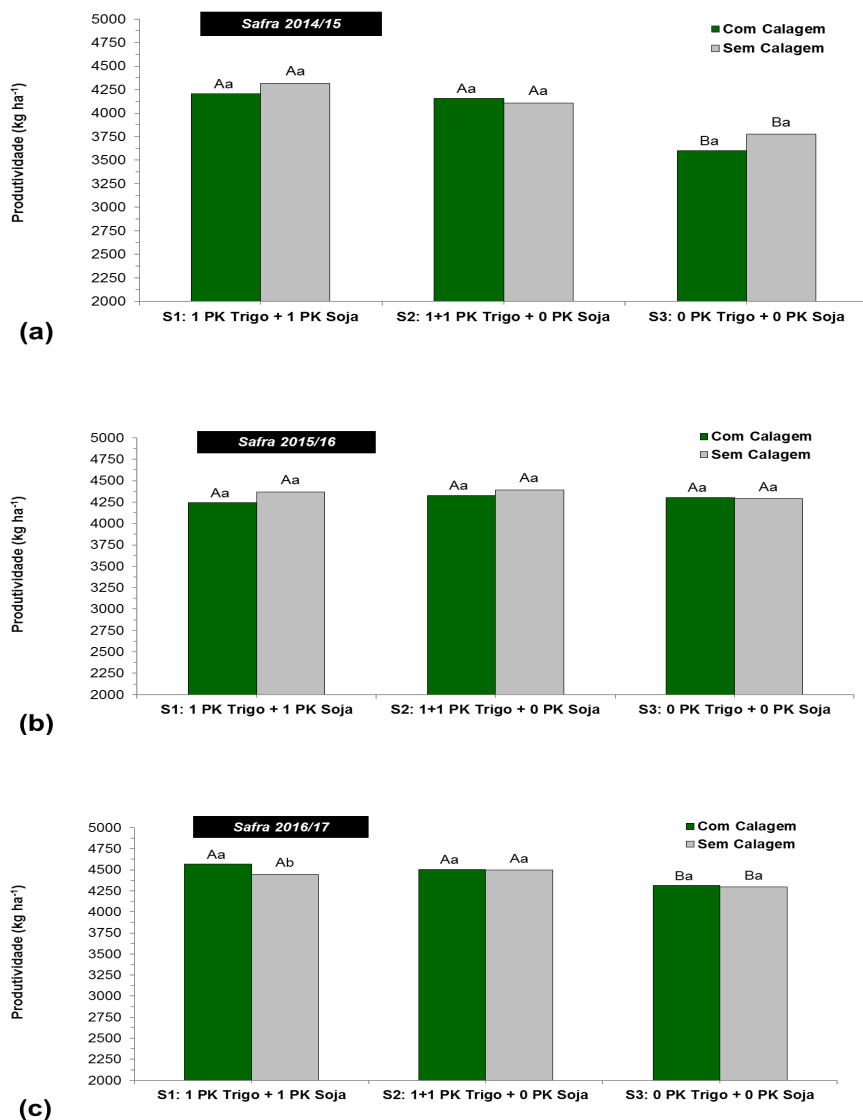


Figura 3. Produtividade de grãos de soja para a interação entre calagem e modo de adubação de sistema com P e K na sucessão trigo/soja, nas safras 2014/15 (a), 2015/16 (b) e 2016/17 (c) em Ponta Grossa/PR. Letras minúsculas nas colunas comparam ausência e presença de calagem dentro de cada modo de adubação, e as maiúsculas comparam os modos de adubação dentro de cada condição de calagem, pelo teste de Tukey a 5% de significância. Resultados gerados a partir das médias de nove genótipos de soja, para todas as safras. CV_(safra 2014/15): 8,39%; CV_(safra 2015/16): 6,94%; CV_(safra 2016/17): 5,56%.

Destacam-se dois trabalhos sobre a correção da acidez em subsuperfície do solo, que foram realizados na região Centro-Sul do Paraná em condição de ambiente similar à do presente estudo: (1) Fontoura et al. (2015) verificaram, já no primeiro ano após a aplicação de calcário em superfície no SPD, elevação do pH e do V até 60 cm de profundidade no solo, em experimento conduzido com a rotação de soja, milho, trigo, cevada e aveia-branca; e (2) Caires et al. (2000) constataram que o corretivo aplicado sobre a palhada no SPD aumentou o pH e os teores de Ca e Mg, e reduziu o Al, na camada de 20 a 80 cm do solo.

O solo do presente estudo vinha sendo manejado no SPD por mais de 10 anos, com a rotação de soja e milho no verão, e trigo e aveia-preta no inverno. Portanto, além de não haver restrições de atributos físicos, biológicos e fitossanitários, o solo apresentava elevada fertilidade química para o cultivo da soja e do trigo (Tecnologias..., 2013; CBPTT, 2013). E esta alta fertilidade pode ser a justificativa para a ausência de resposta da soja à calagem (Figuras 2 e 3).

Quanto ao modo de adubação, verifica-se nas Figuras 2 e 3 que não houve prejuízo de rendimento de grãos quando os fertilizantes P e K foram retirados dos sulcos de semeadura da soja e aplicados antecipadamente na semeadura do trigo, nas três safras estudadas. Portanto, corrobora-se que a soja submetida ao sistema alternativo de adubação S2 (100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 100 kg ha⁻¹ de K₂O no trigo, e ausência de P e K na soja) alcançou níveis de produtividade estatisticamente equivalentes aos da soja cultivada com o sistema de adubação padrão S1 (40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O no trigo, e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O na soja).

Ainda nas Figuras 2 e 3, constata-se que a única situação em que houve perda significativa de produtividade da soja foi na ausência de adubação com P e K em ambas as culturas, no sistema S3 (0 PK Trigo + 0 PK Soja).

Reafirma-se, portanto, que é viável fazer a antecipação total da adubação de P e K da soja no trigo antecessor. Contudo, é imprescindível considerar que o solo deste trabalho continha 0,5 cmol_c dm⁻³ de K e 14 mg dm⁻³ de P na camada de 0 a 20 cm, teores classificados como altos para as culturas da soja e do trigo no Paraná (Tecnologias..., 2013; CBPTT, 2013; Moreira et al., 2017).

Nas recomendações de Moreira et al. (2017), sustenta-se que é possível retirar totalmente as adubações de P e K da soja instalada após culturas de outono-inverno devidamente adubadas. Com base em históricos de experimentos realizados no Paraná, em solos sem problemas de acidez e manejados no SPD, argumenta-se que as aplicações de P e K na soja podem ser dispensadas quando esta é semeada após as culturas do trigo, triticale, aveia-branca, cevada e milho-safrinha adubadas com as doses de P e K apresentadas nas tabelas.

Porém, há alguns requisitos indispensáveis a serem considerados para que a estratégia supracitada funcione (Moreira et al., 2017): (1) Especificamente para a adubação fosfatada, os solos precisam ter teores de P em níveis alto ou muito alto na camada de 0 a 20 cm; e a explicação para a eliminação da adubação fosfatada da soja é que as gramíneas de outono-inverno têm níveis críticos para P mais altos que o da soja; e (2) No caso da supressão da adubação potássica da soja, é possível adotar esta prática em solos com teores de K acima de $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 0 a 20 cm, desde que as gramíneas de outono-inverno recebam as doses de K indicadas.

Outro procedimento imprescindível para viabilizar a supressão das adubações de P e K da soja é a intensificação do monitoramento da fertilidade do solo, ou seja, é fundamental realizar amostragens periódicas anuais para evitar a exaustão das reservas dos nutrientes do solo e/ou perdas de produtividade (Moreira et al., 2017).

Com base nas explanações de Fontoura et al. (2015), a adubação de sistema é aplicável em solos cultivados por longo tempo em sistemas conservacionistas como o SPD, contemplando rotação de culturas e com a fertilidade química corrigida (sem problemas de acidez e com níveis adequados de macro e micronutrientes), e sem restrições de ordem física (compactação do solo e disponibilidade hídrica). Os autores argumentam que nessas situações a lógica da adubação é diferente, pois, há suprimento contínuo de nutrientes em sincronia com a demanda das culturas, e a adubação passa a ser de manutenção ou de restituição. O aporte de fertilizantes precisa ser feito somente uma vez ao ano, antecedendo a cultura mais exigente do sistema de produção, ou para aquela que apresenta a maior resposta à aplicação de nutrientes.

Observam-se na Figura 3 os resultados de produtividade da soja para o desdobramento entre níveis de calagem e modos de adubação, para as três safras. A análise estatística não indicou interação significativa entre estes dois fatores, todavia, foi aplicado teste de médias para avaliar o efeito combinado.

Houve perda significativa de produtividade da soja na ausência total de adubação com P e K, em duas das três safras estudadas (Figuras 2 e 3). Quanto à interação entre calagem e modo de adubação, destaca-se que o uso de corretivo não favoreceu a soja em nenhuma situação, nem mesmo quando retirou-se totalmente as adubações fosfatada e potássica do sistema trigo/soja por três anos consecutivos (Figura 3).

Em tese, no presente estudo, os teores disponíveis de P (14 mg dm^{-3}) e K ($0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) do solo, classificados como altos, deveriam ser suficientes para suprir a soja para que pudesse expressar o seu máximo potencial produtivo, e os fertilizantes ministrados deveriam ter a única função de evitar a exaustão dos nutrientes do solo (Fontoura et al., 2015; Sousa et al., 2016; Moreira et al., 2017). Porém, logo no primeiro ano de condução do experimento houve perdas significativas de produtividade na ausência total de adubação com P e K, para todos os genótipos avaliados (Figuras 2 e 3).

Diante desses resultados, questiona-se se realmente é possível retirar totalmente as adubações de P e K da soja em sistemas de produção que contemplem gramíneas de outono-inverno devidamente adubadas (Moreira et al., 2017). Faz-se ressalva que o delineamento experimental do presente trabalho não foi concebido para avaliar e questionar a recomendação da Moreira et al. (2017).

Na Figura 4 estão apresentados os resultados de produtividade para o desdobramento de genótipos de soja dentro de níveis de calagem. Esta interação não foi estatisticamente significativa, mas foi aplicado teste de médias para avaliar o desempenho individual de cada genótipo.

A calagem não beneficiou nenhuma das 14 cultivares de soja avaliadas, nas três safras. Especificamente para o genótipo 3, constatou-se rendimento significativamente menor quando foi feita calagem, porém, este comportamento atípico ocorreu somente em uma safra. Pode ter acontecido por causa de maior acamamento da soja no solo corrigido, ou devido a distúrbios nutricionais, ou outros problemas (Figura 4A).

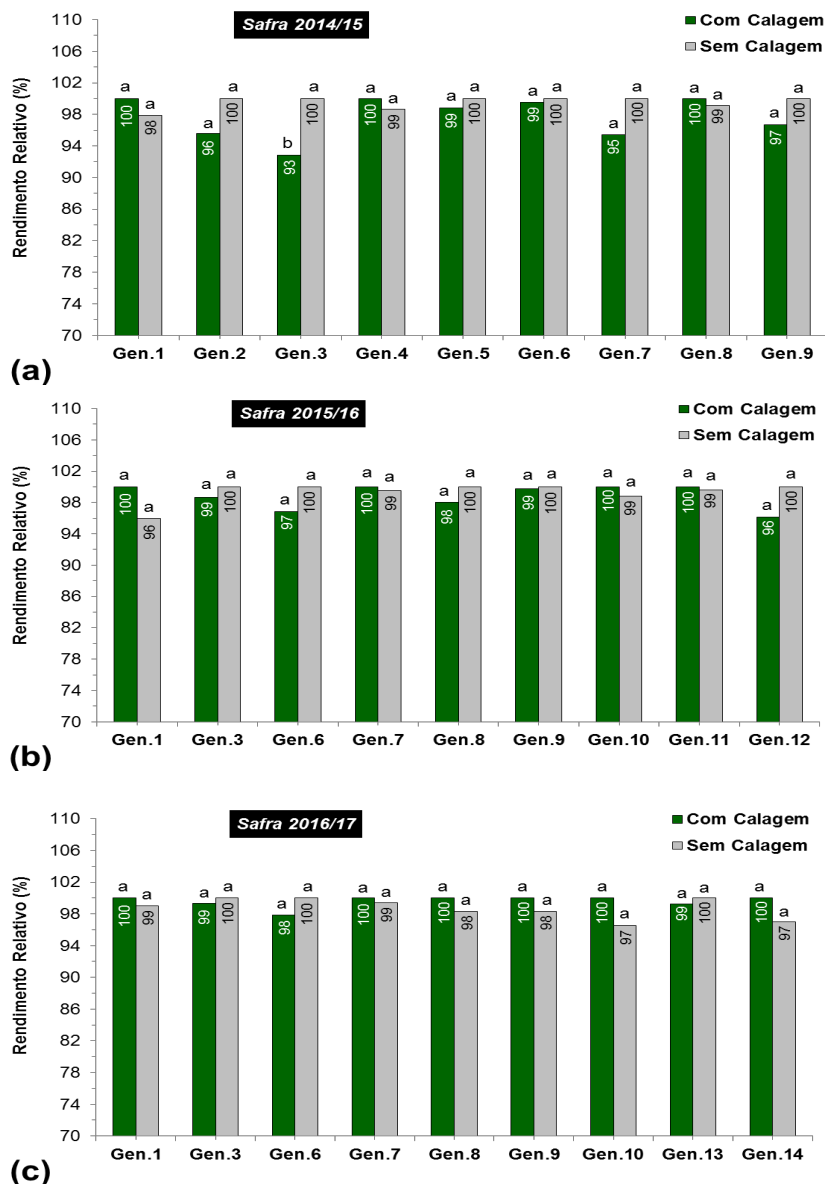


Figura 4. Rendimento relativo de grãos (%) para a interação entre genótipo de soja e calagem nas safras 2014/15 (a), 2015/16 (b) e 2016/17 (c), em Ponta Grossa/PR. Letras nas colunas comparam ausência e presença de calagem dentro de cada genótipo de soja, pelo teste de Tukey a 5% de significância. Rendimento relativo calculado separadamente para cada genótipo, considerando a produtividade máxima obtida como 100%, a cada safra. CV_(safra 2014/15): 8,39%; CV_(safra 2015/16): 6,94%; CV_(safra 2016/17): 5,56%.

Quando a calagem eleva o pH acima de 5,5, a solubilidade do Al é expressivamente reduzida. Porém, pode-se ter ainda alta disponibilidade de Mn em níveis tóxicos, que é neutralizado em pH acima de 6,0. O Al em concentrações elevadas, além de ser tóxico às plantas, pode prejudicar a disponibilidade de alguns nutrientes (Sousa et al., 2007; Raij, 2011).

Um dos destaques do manejo de solos tropicais, que constituem grande parte do território brasileiro, é a interação entre acidez e adubação fosfatada. Por causa do elevado grau de intemperismo, nesses solos são comuns altos teores de óxidos e sesquióxidos de Fe e Al, os quais, em condição de pH ácido, fixam o P reduzindo a sua disponibilidade às plantas (Novais; Smith, 1999). Estima-se que em solos tropicais o aproveitamento de fertilizantes fosfatados seja da ordem de 10% para a maioria das culturas (Raij, 2004).

Sousa et al. (2007) relatam que na literatura internacional considera-se que a faixa de pH entre 6,0 a 6,5 é a mais adequada para a maioria das espécies cultivadas. Mas para os solos brasileiros a melhor faixa de pH está entre 5,7 a 6,0. Os autores enfatizam que quando há correção do pH para níveis considerados adequados, ocorre redução da solubilidade do Al e dos nutrientes catiônicos Mn, Zn, Cu e Fe. Por outro lado, há incremento da disponibilidade de vários outros nutrientes, alguns por efeitos químicos diretos (exemplos: P e Mo porque há menor reação de fixação com Al e Fe), e outros por efeitos indiretos (exemplos: N porque há maior mineralização da MO; e K porque há incremento da CTC efetiva reduzindo perdas por lixiviação).

Do ponto de vista do melhoramento genético, a partir da correção do solo, as alterações de disponibilização de nutrientes e de solubilização de elementos químicos tóxicos são sentidas de forma distinta entre espécies e cultivares. Portanto, não é possível fazer generalizações quanto às respostas de diferentes genótipos submetidos a níveis de acidez do solo, ou seja, é necessário considerar especificidades de cada genótipo para ajustar o manejo da fertilidade visando o máximo retorno econômico (Sousa et al., 2007; Raij, 2011).

Há vários estudos elucidando mecanismos fisiológicos evolutivos que ampliam a proteção das plantas contra o Al tóxico do solo, conferindo maior capacidade de sobrevivência e desenvolvimento de raízes de cultivares classificadas como Al-tolerantes (Silva et al., 2002).

Os mecanismos das plantas que conferem tolerância ao Al são comumente distinguidos como internos e externos: (1) Tolerância interna (após absorção radicular) ocorre por meio da desintoxicação do Al, seja por compartimentalização e/ou por inativação química dentro dos tecidos vegetais; e (2) Tolerância externa é formada por mecanismos de exclusão, e estão relacionados com a capacidade das plantas em evitar a absorção e o transporte de Al para locais sensíveis dos tecidos vegetais (Kochian, 1995; Rengel; Reid, 1997; Taylor, 1997; Silva et al., 2002).

Há exemplos de mecanismos das plantas que conferem tolerância ao Al tóxico do solo: imobilização na parede celular, baxia CTC na rizosfera, permeabilidade seletiva da membrana plasmática, alterações induzidas no pH da rizosfera, exsudação de compostos quelantes de Al, entre outros. Se os mecanismos de exclusão do Al não estiverem presentes ou não forem suficientes para prevenir a entrada de Al na planta, a tolerância interna pode envolver quelação de Al no citoplasma por ligantes (ácidos orgânicos, proteínas, etc.), compartimentalização no vacúolo, etc. (Kochian, 1995; Rengel; Reid, 1997; Taylor, 1997; Silva et al., 2002).

O Al pode prejudicar diferentes processos celulares das plantas, o que torna provável que diversos mecanismos estejam envolvidos na constituição da tolerância genética (Taylor, 1997). Um ou mais desses mecanismos de proteção, em diferentes combinações, podem estar agindo concomitantemente, dependendo principalmente do “background” genético da cultivar classificada como Al-tolerante (Taylor, 1997; Silva et al., 2002).

Na Figura 5 estão apresentados os resultados de rendimento relativo de grãos de soja para o desdobramento de genótipos dentro de cada modo de adubação de sistema, nas três safras estudadas. A análise estatística não indicou interação significativa entre estes dois fatores; entretanto, foi aplicado teste de médias para avaliar o desempenho individual de cada genótipo.

O principal resultado, para todos os 14 genótipos nas três safras, é que em nenhuma das situações houve prejuízo de produtividade quando os fertilizantes P e K foram retirados dos sulcos de semeadura da soja e aplicados antecipadamente na semeadura do trigo (Figura 5).

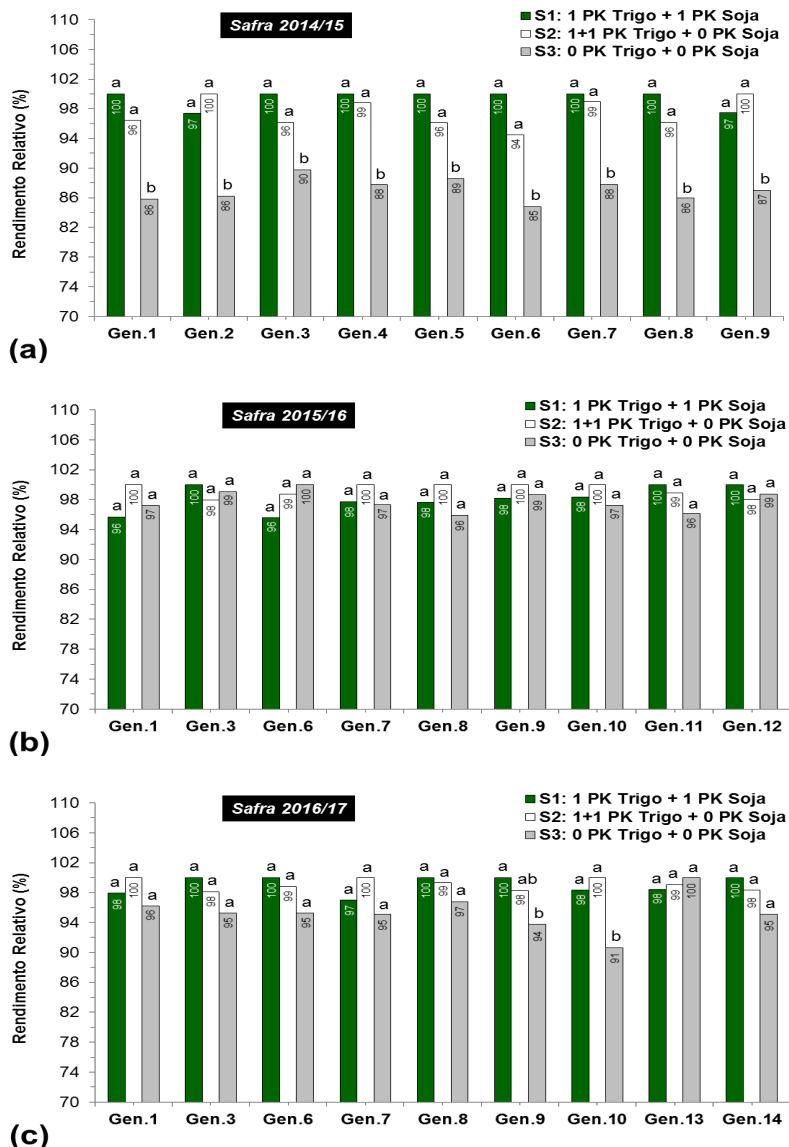


Figura 5. Rendimento relativo de grãos (%) para a interação entre genótipo de soja e modo de adubação de sistema com P e K na sucessão trigo/soja, nas safras 2014/15 (a), 2015/16 (b) e 2016/17 (c) em Ponta Grossa/PR. Letras nas colunas comparam modos de adubação dentro de cada genótipo de soja, pelo teste de Tukey a 5% de significância. Rendimento relativo calculado separadamente para cada genótipo, considerando a produtividade máxima obtida como 100%, a cada safra. CV_(safra 2014/15): 8,39%; CV_(safra 2015/16): 6,94%; CV_(safra 2016/17): 5,56%.

Por outro lado, na ausência total de adubação com P e K na sucessão trigo/soja, na primeira safra de condução do experimento, em 2014/2015, todos os genótipos de soja tiveram perdas significativas de produtividade (Figura 5A). No segundo ano de avaliação, na safra 2015/16, nenhum genótipo apresentou perda significativa de produtividade quando foram retiradas as adubações de P e K do trigo e da soja (Figura 5B). E por último, na safra 2016/17, somente duas cultivares tiveram seus rendimentos de grãos estatisticamente reduzidos na ausência total de adubação com P e K (Figura 5C).

Reafirma-se que, em tese, o solo do presente estudo, por apresentar teores altos de P (14 mg dm^{-3}) e K ($0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na camada de 0 a 20 cm, deveria suprir a soja para que pudesse atingir o seu máximo potencial produtivo na ausência de adubação com P e K. E o aporte de fertilizantes seria somente para manutenção da fertilidade do solo (Moreira et al., 2017). Porém, é difícil sustentar esta indicação de ausência total de adubação em solos com altos teores de P e K, pois, em algumas situações, tais como as constatadas neste estudo, pode haver perdas de rendimento (Figuras 2, 3 e 5).

Em trabalho sobre adubação potássica em sistema de rotação com as culturas de soja, milho, trigo, cevada e aveia-branca na região Centro-Sul do Paraná, Fontoura et al. (2015) verificaram que os cereais de inverno (trigo, cevada e aveia-branca) foram mais exigentes em K no solo em relação às culturas de verão soja e milho. Os máximos rendimentos econômicos dos cereais de inverno foram obtidos com $0,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K na camada de 0 a 20 cm (nível crítico), enquanto que a soja e o milho necessitaram de $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K (nível crítico) no solo para atingirem os seus máximos retornos econômicos. Os autores concluíram que, considerando todas as culturas estudadas, é baixa ou nula a probabilidade de haver retorno econômico para a adubação potássica quando os teores de K do solo estão acima do nível crítico, enquanto que abaixo deste valor a probabilidade aumenta à medida que o teor de K diminui.

Continuando no trabalho de Fontoura et al. (2015), sobre adubação potássica para as culturas da soja, milho, trigo, cevada e aveia-branca no Centro-Sul do Paraná, os piores retornos econômicos foram obtidos para a soja em reposta à aplicação de K. Além disso, a rentabilidade da soja, em geral, foi negativa em solos com disponibilidade alta ou muito alta desse nutriente. Argumenta-se que, provavelmente, o efeito salino das doses de K aplicadas nos sulcos

de semeadura da soja pode ter causado problemas às plantas. Os autores sugerem que o manejo da adubação potássica para a soja deve ser realizado por meio da antecipação da aplicação de K na cultura de inverno (adubação de sistema).

No caso da adubação fosfatada, a sua eficiência é afetada por propriedades do solo, constituição dos fertilizantes, manejo e desempenho dos genótipos (Novais; Smyth, 1999; Raij, 2004). Quanto à contribuição da genética, há exemplos de uso de fosfatos naturais de baixa solubilidade em que a disponibilização de P no solo foi mais rápida quando a adubação foi associada ao cultivo de gramíneas tolerantes à acidez (Vilela et al., 1999; Sousa; Lobato, 2004b). Relata-se também que é possível aumentar o aproveitamento de adubos fosfatados a partir do uso de culturas e/ou cultivares com maior capacidade de extração de P, para compor programas de rotação (Sousa et al., 2004).

De acordo com Fontoura et al. (2015), é viável antecipar totalmente a adubação fosfatada da soja na cultura de inverno (trigo ou cevada), em solos com disponibilidade de P alta ou muito alta. Essa indicação é embasada em vários experimentos realizados no Centro-Sul do Paraná, nos quais a soja não teve retorno econômico com a adubação fosfatada em solos com teores de P acima do nível crítico, ao contrário do trigo e da cevada que responderam positivamente nessas condições. Portanto, para o trigo e a cevada é vantajosa a aplicação de P superior às doses de reposição, em termos de máxima eficiência econômica, em solos com disponibilidade alta do nutriente.

Outro fator-chave para o aferimento de programas de adubação, e para o manejo da fertilidade do solo como um todo, é conhecer a capacidade de extração de nutrientes dos genótipos com os quais se trabalha (Novais; Smyth, 1999; Siqueira et al., 2004).

A identificação de cultivares mais eficientes quanto ao uso de um determinado nutriente, como o P em solos tropicais, por exemplo, também é importante para elaborar estratégias de melhoramento genético, visto que a capacidade adaptativa a condições adversas de fertilidade do solo é uma solução tecnológica que pode significar menores gastos com fertilizantes, sem comprometer o potencial produtivo das culturas (Novais; Smyth, 1999; Furlani; Machado, 2002).

A absorção e utilização de nutrientes minerais pelas plantas apresentam grandes variações interespecíficas e intraespecíficas. Essa diversidade genética em populações de plantas, para uma dada cultura, está sujeita à pressão de seleção criada por ambientes específicos. Se um nutriente mineral é fator limitante no solo, uma população de plantas com elevada variabilidade genética pode se tornar progressivamente adaptada a este fator, tornando-se mais eficiente no seu uso biológico (Furlani; Machado, 2002).

Frequentemente utiliza-se a concentração de elementos químicos minerais nos tecidos vegetais, que definem a deficiência ou suficiência, para mensurar o nível de exigência de um determinado genótipo em termos de nutrição (Furlani; Machado, 2002). Contudo, segundo Sáríc (1983), citado por Furlani e Machado (2002), uma cultivar pode manifestar diferenças em características morfológicas, anatômicas e bioquímicas que podem influenciar a sua capacidade de absorção, translocação, redistribuição e utilização de elementos minerais em diferentes órgãos das plantas, definindo funções em processos fisiológicos, conferindo maior eficiência no uso de nutrientes, e/ou maior tolerância a elementos tóxicos.

Em termos de melhoramento genético, para se obter avanços na tolerância a estresses causados por nutrientes deficientes e/ou elementos químicos tóxicos do solo, é necessário compreender mecanismos bioquímicos envolvidos nas rotas metabólicas em estudo, e distinguir os tipos de herança e o grau de herdabilidade desses atributos. Também é importante definir metodologias e parâmetros para a avaliação e seleção de genótipos, específicos para cada nutriente ou elemento tóxico (Dechen et al., 1999; Furlani; Machado, 2002).

Considerações Finais

- A calagem em superfície no sistema plantio direto (SPD) consolidado, na região Centro-Sul do Paraná, para elevar a saturação por bases (V) de 57% para 70% na camada de 0 a 20 cm de profundidade do solo, não favoreceu o rendimento de grãos da soja.
- Para nenhuma das 14 cultivares de soja avaliadas, em três safras consecutivas, houve ganhos de produtividade quando se fez calagem em superfície no SPD.

- A antecipação total da adubação fosfatada e potássica da soja no trigo antecessor não prejudicou a produtividade de grãos da soja, em um solo com teores altos de P e K disponíveis na camada de 0 a 20 cm;
- Para nenhuma das 14 cultivares de soja avaliadas, em três safras consecutivas, houve perdas de produtividade quando os fertilizantes P e K foram retirados dos sulcos de semeadura da soja e aplicados antecipadamente na semeadura do trigo.

Referências

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONCALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. dos. (Ed.). **Mapa de solos do estado do Paraná**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Curitiba: Embrapa Florestas; Londrina: IAPAR, 2008. 74 p.
- CAIRES, E. F. Controle da acidez e melhoria do ambiente radicular no sistema plantio direto. In: FONSECA, A. F. da; CAIRES, E. F.; BARTH, G. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto**. Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2011. p. 23-68.
- CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. da. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 161-169, 2000.
- CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORRÊA, J. C. L. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, v. 28, p. 57-64, 2008.
- CBPTT - Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. **Informações técnicas para trigo e triticale - safra 2013**. Londrina: IAPAR, 2013. 220 p.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 1).
- CONAB. **Série histórica das safras**: soja. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>>. Acesso em: 13 mar. 2019.
- DECHEN, A. R.; FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R. Tolerância e adaptação de plantas aos estresses nutricionais. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1999. p. 337-361.
- FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 1549-1561, 2008.

FURLANI, A. M. C.; MACHADO, C. T. T. Variabilidade e herança da eficiência na absorção e utilização de nutrientes em ambientes marginais, em germoplasmas de soja, trigo, arroz e milho. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F. de; MELLO, J. W. V. de; COSTA, L. M. da. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2002. v. 2. p. 337-392.

IAPAR (Londrina, PR). **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, 1994. 45 p. il. (IAPAR. Documentos, 18).

KASTER, M.; FARIAS, J. R. B. **Regionalização dos testes de Valor de Cultivo e Uso e da indicação de cultivares de soja - Terceira Aproximação**. Londrina: Embrapa Soja, 2012. 70 p. (Embrapa Soja. Documentos, 330)

KOCHIAN, L. V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 46, p. 237-260, 1995.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 411-416, 1993.

MOREIRA, A.; MOTTA, A. C. V.; COSTA, A.; MUNIZ, A. S.; CASSOL, L. C.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; BATISTA, M. A.; MÜLLER, M. M. L.; HAGER, N.; PAULETTI, V. (Ed.). **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: SBCS, Núcleo Estadual do Paraná, 2017. 482 p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, v. 38, p. 47-57, 1996.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D. **A importância da matéria orgânica nos sistemas agrícolas**. Londrina: IAPAR, 1998. 36 p. (IAPAR. Circular Técnica, 98)

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAIJ, B. van. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 107-114.

RENGEL, Z.; REID, R. J. Uptake of Al across the plasma membrane of plant cells. **Plant and Soil**, v. 192, p. 31-35, 1997.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema Brasileiro De Classificação De Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SILVA, I. R.; SMYTH, T. J.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Physiological aspects of aluminum toxicity and tolerance in plants. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F. de; MELLO, J. W. V. de; COSTA, L. M. da. **Tópicos em ciência do solo**. v. 2. Viçosa: SBCS, 2002. v. 2. p. 277-336.

SIQUEIRA, J. O.; ANDRADE, A. T.; FAQUIM, V. O papel dos microrganismos na disponibilização e aquisição de fósforo pelas plantas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 117-149.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004b. p. 157-196.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004a. p. 81-96.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p. 147-168.

SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N. de; OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

SOUSA, D. M. G. de; NUNES, R. de S.; REIN, T. A.; SANTOS JÚNIOR, J. de D. G. dos. **Manejo da adubação fosfatada para culturas anuais no cerrado**. Brasília: Embrapa Cerrados. 2016. 10 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 33)

TAYLOR, G. J. Mechanisms of plant adaptation and tolerance to acid soils. In: MONIZ, A. C.; FURLANI, A. M. C.; SHAFFERT, R. E.; FAGERIA, N. K.; ROSOLEM, C. A.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Plant-Soil interaction at low pH: sustainable agriculture and forestry production**. Campinas: Brazilian Soil Science Society, 1997. p. 107-108.

TECNOLOGIAS de produção de soja - Região Central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 16).

VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G. de; MACEDO, M. C. M. **Calagem a adubação para pastagens na região do cerrado**. 2. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 15p. (Embrapa Cerrados. Circular técnica, 37)

WIETHÖLTER, S. Fertilidade do solo e a cultura do trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 135-185.

